

ANALIZA ŽLEDOLOMA 2014 V PRENOSNEM OMREŽJU ELES

Lovro BELAK, Robert MARUŠA, Rado FERLIČ, Janez RIBIČ, Jože PIHLER

POVZETEK

Republiko Slovenijo in del sosednjih držav je v koncu januarja in začetku februarja zajela vremenska ujma sneg, žled in padavine. Žled je naravni vremenski pojav, ki se obdobjno pojavlja na različnih koncih Slovenije, predvsem na gorskih pregradah, kjer se srečujejo različna podnebja. Žled 2014 je prizadel večji del Slovenije in jo zaradi velike količine ledu, ki se je oprijemal različnih predmetov tudi ohromil. Največ škode je povzročil v gozdovih, električni, železniški in cestni infrastrukturi. V tem obdobju je bilo okoli 10 % prebivalstva Slovenije brez električne energije. V članku povzemamo vremensko dogajanje, pretekle izkušnje in poškodbe na prenosnem omrežju. Za konec članka prikažemo analizo obratovanja prenosnega omrežja za obdobje pred in po žledu 2014.

ABSTRACT

Republic of Slovenia and part of the neighboring countries in the end of January and beginning of February cover weather storm snow, sleet and rain. LED is a natural weather phenomenon that occurs periodically in different parts of Slovenia, particularly in mountain bulkheads where they encounter different climates. LED 2014 hit large parts of Slovenia and the large amount of ice, which cling variety of items including paralyzed. Most damage is caused to forests, power, rail and road infrastructure. During this period, around 10% of Slovenia's population were been without electricity. In this article we summarize the weather situation, past experience and damage to the transmission network. At the end of the article we show an analysis of the transmission network for the period before and after the ice 2014.

1. UVOD

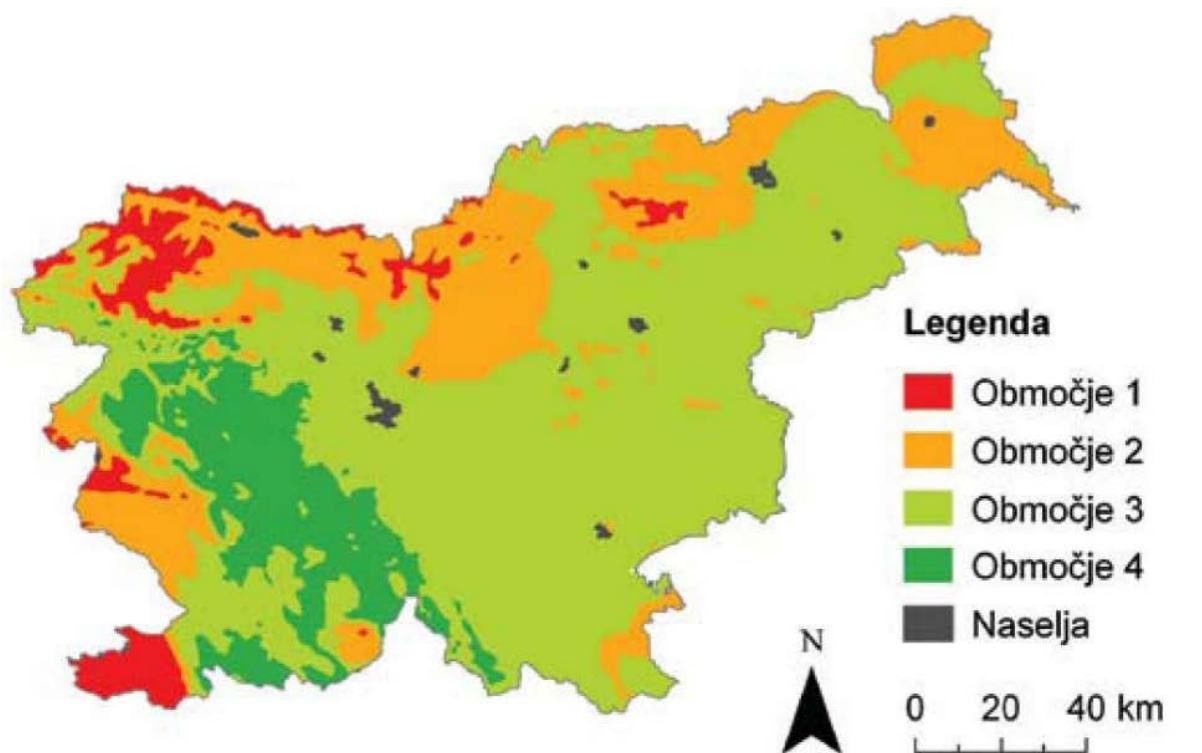
V obdobju med 30. januarjem in 5. februarjem leta 2014 je večje območje Republike Slovenije, razen nižjega dela Primorske, Vipavske doline, Brkinov, dela Prekmurja zajela naravna ujma, žled. Žled oz. pršeči dež, ki zmrzuje ob dotiku z vsemi izpostavljenimi predmeti, povzroča dodatno breme – obremenitve rastlin, dreves, gozdov nazadnje cestne, železniške in elektro infrastrukture. Ker je bilo tovrstno žledenje izjemno in je zajelo večjo površino Slovenije, dela južne Avstrije in severne Hrvaške, je povzročilo škodo večjih razsežnosti, v gozdovih na cestni, železniški in elektro infrastrukturi. V članku želimo predstaviti nastanek naravnega pojava, izkušnje elektrogospodarstva na tovrstne ujme, pregled dogodkov žledenja 2014 in obratovanje prenosnega omrežja ELES.

2. ŽLED

Republika Slovenija geografsko obsega majhno, a vremensko raznoliko območje. Posledica stičišča alpskega, dinarskega, celinskega in sredozemskega podnebja je podnebna spremenljivost na majhnih razdaljah. Mešanje različnih »klim«-podnebij, ki je nemalokrat vpliv sočasnosti vremenskih sistemov in orografije, lahko povzročajo razvoj skrajnih vremenskih razmer – ujm, katere posledice v naravnem in urbanem okolju uvrščamo med nesreče. Klimatologi že vrsto let opozarjajo, da so naravne nesreče kot posledica segrevanja ozračja in da jih je potrebno upoštevati v vsakdanjem življenju. Take naravne nesreče vplivajo na gospodarsko delovanje, še zlasti pri načrtovanju prostora rabe [1].

2.1 Žled v Sloveniji

Žled je led naraven vremenski pojav, ki se nabere na dele rastlin bodisi na predmete in zgradbe. Za njegov nastanek je krivo toplo ozračje v višinah in mrzlo – ledeno ozračje v nižinah. Pojav žledenja smo poimenovali naraven, saj se skoraj vsako letno nastaja na manjših območjih, predvsem v stičiščih sredozemskega in celinsko alpsko-dinarskega podnebja. To je območje vzdolž »dinarske pregrade« na celinski ali primorski strani. Gre za Brkine, območje okoli Senožec z Vremščico (1027 m), vznožja in pobočja Snežnika, Čičarijo Javornikov, Nanosa, Trnovskega gozda dele Posočja, Idrijsko-Cerkljanskega hribovja in Škofjeloškega hribovja [1, 2]. Na sliki 1 prikazujemo zemljevid Slovenije z območji ogroženih zaradi žleda, obdobje 1961 – 2006.



Sl.1: Karta območij, ogroženih zaradi žleda [1]

Območje Slovenije je razdeljeno na štiri cone:

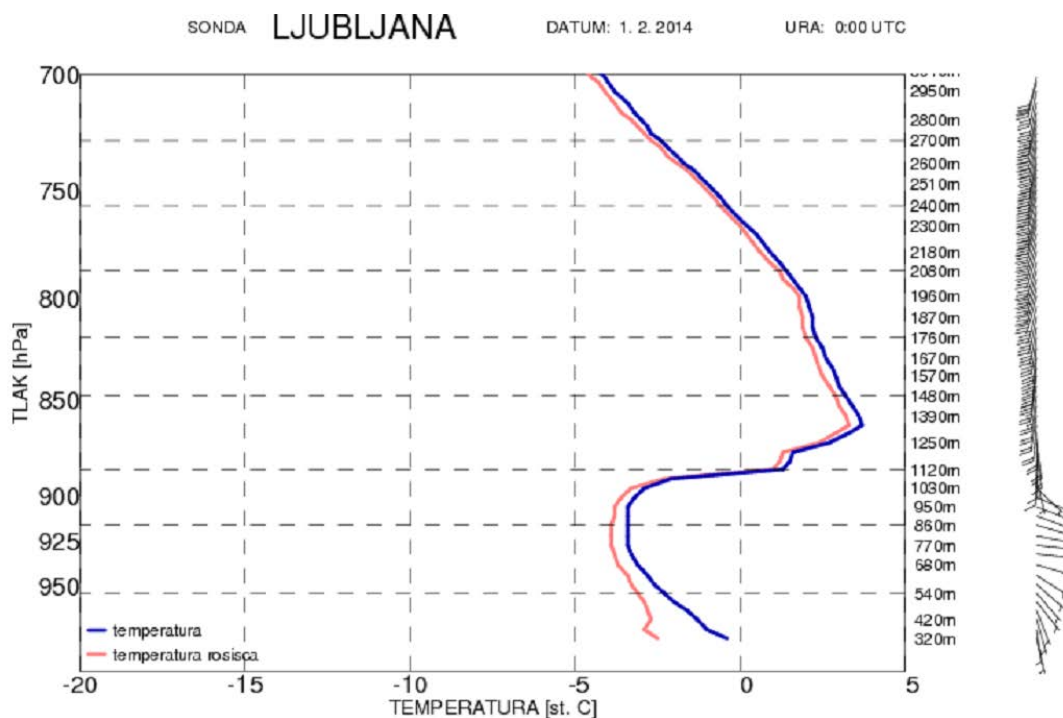
- območje 1 (rdeča barva), kjer se žled ne pojavlja ali se pojavlja zelo redko in v tanjših plasteh tako, da ne povzroča škode,
- območje 2 (oranžna barva), kjer se žled sicer pojavlja, vendar zelo redko povzroči manjšo škodo (enkrat na 10 let),
- območje 3 (svetlo zelena barva), kjer se žled pojavlja pogosto in v povprečju na 3 leta povzroči tudi škodo,
- območje 4 (temno zelena barva), kjer se žled, ki povzroča škodo v povprečju pojavlja na 1 do 2 leti, razmeroma pogosto pa povzroči tudi večjo škodo.

S pomočjo slike 1 lahko potrdimo, da je žled vsakoletni naraven pojav, ki se pojavlja v različnih zimskih obdobjih. Pojav žledenja lahko enačimo s pojavom vročinskih neviht v poletnem času. Te se različno pojavljajo, imajo različen obseg, intenziteto, količino padavin,... Pri vsakoletnem žledu je navadno različen obseg območja žledenja gledano po površini in glede na nadmorsko višino. Obseg žledenja definiramo z debelino nabranega ledu na predmetih oz. posledično količino poškodovanega lesa v [m³] v gozdovih. Tako slovenski gozdovi poznajo žledolome v letih: 1975, 1980, 1984, 1995, 1996/97, 2009, 2010 in 2014 [1, 2, 3, 4, 5].

2.2 Žled 2014

Zima 2013/14 lahko zaključimo, da je bila mila z veliko količino vode. Edina resna zmrzal, je bila v začetku meseca decembra 2013 nato se je nadaljevalo toplo vreme vseskozi božično-novo letne praznike do 23. januarja. V tem obdobju je Slovenija bila pod vplivom jugozahodnih višinskih vetrov, ki so iznad Sredozemlja in Severne Afrike prinašali topel in vlažen zrak. V obdobju od 23. januarja naprej se je vremenska situacija spremenila. Ciklon nad osrednjem delu Balkana in anticiklon na Rusijo sta povzročila zasuk vetra na severovzhodno smer, dotok hladnega zraka iz Rusije in vlažnega zraka iz Sredozemlja je povzročil spust temperatur zraka pod 0°C. Snežilo je v večjem delu Slovenije in deževalo v priobalnem področju Primorske. Nekaj dnevno periodično sneženje se je prekinilo po slabljenju ciklona nad Balkanom v tem času pa se je nad delom Sredozemlja in vzhodnim Atlantikom ustvaril nov izrazit ciklon. Tako je 30.1. 2014 nastalo globoko ciklonsko območje nad Sredozemljem in izrazit anticiklon nad Rusijo. Omenjena kombinacija je botrovala, da je nad Slovenijo in sosednjimi državami prišlo do razlike v zračnem tlaku med obema baričnima tvorbama (ciklon in anticiklonom). Na omenjenem področju se je vedno znova obnavljala frontalna cona »ciklon in anticiklon sta se tepla«, saj sta se srečevala v tankih plasteh v nižinah polaren zrak iz Rusije in pa močan dotok toplega in vlažnega zraka iznad Sredozemlja. Omenjena kombinacija, ki so jo meteorologi poimenovali »šolski recept« je pripomoglo za obilno sneženje, žled in poledico na južnem obrobju Alp. Zaradi dotoka toplega zraka med 1000 m in 2000 m je bila v plasteh med okoli 1900 m in 1200 m temperatura nad 0°C. Snežne padavine so vseskozi padale skozi plast pozitivnih temperatur in

se talile. Pod 1200 m so bile temperature pod 0°C , torej so stavljene kapljice padale v obliki podhlajenega dežja (kapljice s temperature pod 0°C). Te padavine so ob dotiku s tlemi in objektu na tleh v trenutku zmrznile in povzročile poledico in žled. Omenjena vremenska kombinacija spopada ciklona in anticiklona je trajala v obdobju od 30.1. do 3.2.2014. Na sliki 2 prikazujemo potek temperature zraka in temperature rosišč nad Ljubljano glede na nadmorsko višino.



Sl.2: Potek temperature zraka in temperature rosišč nad Ljubljano [1]

2.3 Škoda žledenja na prenosnem omrežju

Vse se je začelo v četrtek 30. januarja, ko je nad večjim delom Slovenije pričelo snežiti. Tekom dneva se je na področju dinarske pregrade pričela izvajati toplotna inverzija, sneg je pričel prehajati v dež. Prve oblike žleda so bile vidne zvečer na območjih postojnskega in pivškega. V petek 31. januarja sredi dneva je sneg prešel v dež v večjem delu Slovenije. Snežilo je na severozahodu države. Padavine so bile najbolj izrazite na območju Posočja, gorskih pregrad Primorske in Notranjske. Sredi dneva je Elektro Primorska zaprosila vzdrževalce CIPO Divača za pomoč pri popravilu pretrganih vodnikov na daljnovodu DV 110 kV Pivka-Postojna. V soboto 1. februarja, se je vremenska situacija samo poslabšala, na večjem delu Slovenije razen južne primorske, Brkinov, Vipavske doline, Krasa so se temperature gibale okoli -3°C , večje količine snega so zapadle v Julijskih Alpah drugod po Sloveniji, deževalo oz. intenzivno rosenje. Na ilirskobistriškem so grozile poplave. V soboto zvečer so se padavine okrepile širile proti vzhodu. Žledenje je zajelo celotno področje. Slovenija je bila okovana v led. Drevesa so padala na distribucijska omrežja, število gospodinjstev brez električne energije je naglo naraščalo. V teh večernih urah so se začeli

odvijati prvi večji izpadi v prenosnem omrežju. Okoli 16. ure je izpadel distribucijski daljnovod DV 110 kV Logatec-Cerknica. Čez dobro uro, okoli 17:30 h je izpadel DV 220 kV Kleče-Divača nato uro zatem še izpad DV 400 kV Beričevo-Divača, dežurni delavci so lahko samo šteli število porušenih stebrov. Vremenska situacija se je v noči iz sobote na nedeljo samo poslabšala. Ponoči malo pred polnočjo se še je porušil DV 110 kV Kleče-Vrhnika V nedeljo 3. februarja v jutranjih urah se je porušil še daljnovod DV 2x110 kV Slovenj Gradec-Velenje. Za nedeljo je bila vremenska napoved ugodnejša, da bo dež prešel v sneg. Na žalost se napoved ni uresničila in je dež oz. rosenje nadaljevalo. Agencija Republike Slovenije za prostor (ARSO) je zato izdala rdeči alarm za celotno državo. Največ izpadov oz. prekinitev električne energije je bilo v tem dnevu. Izpadli oz. porušili so se distribucijski daljnovodi DV 110 kV Kleče-Logatec, DV 110 kV Vrhnika-Logatec, DV 110 kV Pivka-Postojna, številni SN (35, 20 in 10 kV) NN (0,4 kV) daljnovodi. Zaradi prevelike količine ledu, ki je na Postojnskem meril 5 cm so se lomila številna drevesa, ki so padala na distribucijska omrežja, pretrgala žice, lomili so se stebri. Zaključimo lahko, da se je v zgodovini elektrogospodarstva naredila največja ujma oz. katastrofa. V tistem času marsikomu ni bilo jasno, kaj se v resnici dogaja, da lahko takšna vremenska ujma ohromi celotno Slovenijo. Večina gospodinjestev, ki ni imelo električne energije so naivno čakala, da bo dobava prišla v nekaj urah. Tekom nedelje se je vsa ta kalvarija odvijala z lomljenjem dreves in energetske infrastrukture, daljnovodi v zateznih poljih so padala kot domine. Pričelo se je na Ilirskobistriškem in na Postojnskem, kjer se je večkrat popravljen distribucijski daljnovod DV 110 kV Pivka-Postojna dokončno porušil. V Logatcu, DV 220 kV Kleče-Divača in DV 400 kV Beričevo-Divača pri Uncu, vas Studeno pri Planini in Laže nad Senožečami. Na velenjskem je daljnovodni steber z temelji vred izruvalo iz zemlje, gre za DV 2x110 kV Dravograd-Slovenj Gradec-Velenje. Zaradi delovanje zaščit so izpadli še DV 400 kV Beričevo-Podlog, DV 220 kV Beričevo-Podlog, DV 110 kV Formin-Nedeljanec na (Hrvaška) in DV 110 kV Škofja Loka – Železniki. Žled je prizadel tudi sosedno Hrvaško na DV 110 kV Formin-Nedeljanec je prišlo so pretrga vodnika, na DV 400 kV Tumbri (Zagreb)-Melina (Reka-Rijeka) in DV 400 kV Velebit-Melina je prišlo do poškodbe konstrukcije. Omenjene poškodbe je prenosne operater HEP za hrvaško uredil v naslednjih dneh. Vremenska situacija iz nedelje v ponedeljek se je pričela končno umirjati, ciklon nad Sredozemljem je oslabil in pričel umikati, področje anticiklona nad Rusijo se je krepilo na Slovenijo. Zapihal je severovzhodni veter na primorskem pa zmerna Burja. Kar ni uničil led oz. žled je sedaj uničila burja. V ponedeljek 3. februarja so strokovnjaki iz podjetja Dalekovod Zagreb opozorili, da je lahko proces razžledenja povzroči enako ali več škode, kot samo žledenje. In res v ponedeljek so se temperature sredi dneva zaradi severovzhodnega vetra dvignila malo nad 0°C. Okoli 14. ure je zaradi razžledenja na Bevkovem vrhu (1051 m) porušil DV 110 kV Cerkno-Idrija. Zvečer okoli 18. ure pa je zaradi porušitve nad Motnikom proti Vranskem izpadel DV 400 kV Beričevo-Podlog. Na DV 220 kV Beričevo-Podlog je dne: 5. februarja prišlo do loma srednje konzole, okvaro so po dobavi nove konzole odpravili delavci CIPO Ljubljana. Po dveh dneh je bil Daljnovod uspešno vklopljen v prenosno omrežje [1].

Omenjena vremenska ujma je povzročila, v elektrogospodarstvu škodo-katastrofo večjih razsežnosti. Po sedaj znanih virih je brez električne energije ostalo okoli 250.000 ljudi. Žledolom je povzročil zaprtje številnih cest po državi, obstal je železniški promet. Na

železniški progi Ljubljana-Sežana na odseku Ljubljana-Divača je žled uničil celotno elektro infrastrukturo. Potniški promet se še danes od Ljubljane do Divače odvija s pomočjo avtobusov, tovorni promet zagotavljajo dieselske lokomotive. Če v nadaljevanju pogledamo sliko 3 vidimo 400 in 220 kV prenosno omrežje, posledično škodo izpada odjemalcev.



Sl.3: Prenosno omrežje v času žleda 2014

Zaradi žledu 2014 so škodo utrpela območja elektro distribucij, katera so imela izpade odjemalcev električne energije. Največjo škodo je utrpela Elektro Ljubljana s 70.000 odjemalci, ki so bili brez napajanja, nato Elektro Celje in Maribor s približno 30.000 odjemalci, Elektro Primorska 11.500 in Elektro Gorenjska s 5.000 odjemalci. Številna gospodinjstva so si po nekaj dneh čakanja nabavila električne agregate, ki so jim zagotovila najnujnejšo napajanje. Po trgovinah je zmanjkalo električnih agregatov, cena je poskočila za faktor 2 ali 3. Glede na nastalo situacijo je Republika Slovenija 2. februarja zaprosila EU za pomoč. Takoj so se pomoči odzvale sosednje države, ki so ponudile agregate večjih moči. Iz Nemčije in Avstrije so prišli gasilci, kjer so na pomoč priskočili domačim izmučenim in premraženim gasilcem. Škoda, ki jo je povzročil žled je zajela skoraj celotno državo, sosednji Gorski Kotar na Hrvaškem in južno avstrijsko Koroško. V Sloveniji so najbolj utrpeli na ilirsko bistrškem, postojnskem, idrijskem, cerkljanskem, cerkniško področje z Loško dolino, Logatec, Žiri, Vrhnika, celotna Ljubljana okolica in mesto, Kočevje, Ribnica, Grosuplje, Kamnik, Domžale, Litija, Novo mesto, Bela Krajina, Poljanska dolina, dolina Kokre z Jezerskim, Tržič, okolica Kranja, Jesenic in Radovljice, celotna Koroška, Zgornja Savinjska dolina, del spodnje savinjske doline, Šaleška dolina, Celje, območje Pohorja, zgornja dravska dolina, Maribor, Slovenske gorice, Podravje in Kozjansko [1].

3. OBRATOVANJE

Obratovanje prenosnega omrežja je bilo v času vremenske ujme nekoliko okrnjeno. Ne moremo zagotovo zapisati, da ni bilo vpliva na porabnike. Slovensko prenosno omrežje 400, 220 in 110 kV je večinoma zazankano in zagotavlja obratovalni kriterij N-1. Pri tej vremenski ujmi, čeprav je poškodovalo oz. podrlo šest prenosnih vodov je prenosno omrežje normalno obratovalo. Proizvodne enote so lahko glede na potrebo porabnikov zagotavljale nemoteno proizvodnjo. Večji problem je bil pri distribucijskem omrežju, ta je večinoma radialne oblike delno na 110 kV vsekakor pa SN in NN omrežju. Žled in dodatno breme, ki je trgalo vodnike in podiralo nosilne drogove je preprečevalo dobavo električne energije. Če gledamo primerjavo med prenosnim in distribucijskim omrežjem je razlika pri količinah. Distribucijskega omrežja je veliko več v primerjavi z prenosnim omrežje. Ta se večinoma nahaja na privat lastnini, kjer je potrebno za vsaka večja dela pridobiti soglasje lastnikov oz. solastnikov. Večje težave so pri širjenju tras skozi gozdna področja. Kateri lastnik bi dopustil širjenje gozdnega roba 20 m od osi za SN oz. NN prenosni vod. Zato večinoma prekinitev na distribucijskih vodih so poleg žleda povzročila padla drevesa.

3.1 Analiza obratovanja prenosnega omrežja

Čeprav je žled 2014 zadal veliko škodo na elektroenergetski, cestni, železniški infrastrukturi, predvsem pa v gozdovih, ga moramo gledati nanj iz pozitivne strani. Že v drugem poglavju smo ga označili kot naravni pojav, ki se je in bo pojavljal v Slovenji, resda ne v takšnem obsegu, v manjšem obsegu, pasu oz. na določeni nadmorski višini. Prvo spoznanje, ki ga je dobila širša slovenska javnost, je pomen električne energije. Kmalu po vremenski ujmi se je poudarilo, da je danes električna energija bolj pomembna dobrina kot hrana. Ta teza se bo obdržala, dokler je še spomin živ na mrzle dni, vendar vseeno moramo priznati, da je danes električna energija življenjskega pomena. Drugo spoznanje je pomen prenosnih vodov v elektroenergetskem omrežju. Tu apeliramo na prenosni vod DV 2x400 kV Beričevo-Krško in DV 2x110 kV Beričevo-Trbovlje. Ta je rešil osrednjo Slovenijo pred redukcijo električne energije oz. pred popolno temo območja širše Ljubljane, notranjske gorenjske in del dolenjske. Gre za daljnovoda, ki sta se načrtovala 30 let in se smatrala kot neučinkovita za prenosno omrežje. Sploh zadnja izgradnja DV 2x400 kV Beričevo-Krško je pokazala, upravičenost v šestih mesecih. Omenjen daljnovod se je že izkazal kot rešitelj osrednje Slovenije.

Te našteje navedbe pa moramo sedaj tudi ustrezno utemeljiti. Zato pomoč smo uporabili programski paket Neplan iz podjetja BCP Busarello+Cott+Partner Inc., iz Zürich-a. Neplan sestavlja več modulov, katera sta za nas pomembna modul (load flow) pretoki moči in (reliability) zanesljivost. Za začetek smo določili obratovalne scenarije, katere bomo analizirali. Najbolj primerno bi bilo, če bi obravnavali termin žleda od 30. januarja do 5. februarja, vendar smo ugotovili, da je bila poraba že tako zmanjšana, da bi dobili samo takratno nepopolno sliko. Nas sedaj zanima, kakšno je sedaj omrežje, ko se že izvaja sanacija porušenih stebrov, kje imamo ozka grla in kje ne zagotavljamo obratovalni kriterij N-1. V tem primeru smo se odločili, da primerjamo tri obratovalne scenarije, ki obravnavajo prenosno

omrežje pred in po havariji. Za obratovalne scenarije smo se odločili analizirati maksimalno, povprečno ter minimalno proizvodnjo in obremenitev. V Neplan-u imamo za potrebe računanja pretokov moči in zanesljivosti izdelano elektroenergetski model, ki ga sestavljajo vsi dejavniki in sicer: proizvodnja, prenos 400, 220 in 110 kV, distribucijsko omrežje 110 kV in transformacijo na srednje napetosti nivo. Tukaj se tudi konča analiziranje, pri tej točki so navedeni porabniki, kot RTP porabnik. Omenjen model, je povezan z ENTSO-E modelom tako, da upoštevamo tranzitne prenosne povezave. Sam model v Neplan-u sestavljajo primarne naprave, ki so v stikališčih zbiralke, ločilniki, odklopniki, energetske transformatorji in prenosne povezave. Ker je te VN opreme veliko, smo se za prikaz osredotočili samo na glavne prenosne povezave [6, 7].

3.2 Prikaz vhodnih parametrov za analizo

Dorekli smo, da bomo prikazali tri obratovalne scenarije in sicer:

- dne: 1.5.2013 ob 4 uri, zaradi praznika dela je bil manjša obremenitev,
- dne: 10.2.2012 ob 19 uri, je bil maksimalen odjem in
- 13.3.2013 ob 10 uri, je bila povprečna obremenitev, ČHE Avče je črpala (motorsko obratovanje).

Preglednica I: Proizvodnja in poraba za izbrane obratovalne scenarije

		1.5.2013	10.2.2012	13.3.2013
PROIZVODNJA	<i>P</i> [MW]	755,1	2052,9	1518,1
	<i>Q</i> [Mvar]	-59,7	66,9	-83,4
PORABA	<i>P</i> [MW]	755,7	1958,4	1477,9
	<i>Q</i> [Mvar]	115,6	328,9	113,8

Preglednica II: Tranzit za izbrane obratovalne scenarije

		1.5.2013	10.2.2012	13.3.2013
ime daljnovidnega sistema		<i>P</i> [MW]		
TRANZIT ITALIJA	DV 400 kV Divača-Redipuglia	222,5	218,8	574,4
	DV 220 kV Divača-Padriciano	17,8	101,9	156,6
TRANZIT HRVAŠKA	DV 400 kV Tumbri-Krško I	-108,6	-204,8	-117,2
	DV 400 kV Tumbri-Krško II	-108,8	-204,8	-117,2
	DV 220 kV Žerjavinec - Cirkovce	-20,2	-77,4	62,7
	DV 400 kV Divača-Melina	-159,6	23,4	-359,1
	DV 220 kV Divača-Pehlin	-31,0	-47,5	-164,1
TRANZIT AVSTRIJA	DV 400 kV Maribor-Kainachtal I	-177,3	-385,7	-125,6

DV 400 kV Maribor-Kainachtal II	-177,3	-385,7	-125,6
DV 220 kV Obersielach-Podlog	-63,7	-183,6	-79,2

V preglednici I in II prikazujemo obratovalna stanja za različne obremenitve, kar je razvidno iz podatkov proizvodnje, porabe in tranzita.

3.3 Potek analize obratovanja

Potek analize obratovanja v večji meri izvajamo v programskem paketu Neplan. Model EES mora biti v Neplan-u podan v popolnosti. Model EES mora biti za vsak element EES dopolnjen z vhodnimi podatki za zanesljivost. Zanesljivostni podatki zajemajo pogostost in čas izpadov elementov elektroenergetskega sistema. V našem primeru za havarijo žledenja, smo navedli čas izpada 45 dni za tiste daljnovode (5 kom), ki so se porušili. Smatramo, da takšna sanacija lahko izvede v tem časovnem obdobju. Na podlagi vhodnih obratovalnih podatkov, ki smo jih navedli v podpoglavju 3.2 in podatkov za zanesljivost elementov v Neplanu, zaženemo izračun zanesljivosti. Kazalci zanesljivosti (pogostost izpadov, trajanje izpadov odjemalcev in proizvodnje) se izračunavajo v modulu »Reliability«, kjer se najprej izvede tudi začetni izračun pretokov moči. Izračun zanesljivosti se prične z avtomatskim izpadom prvega elementa po tabeli izpadov. Stanje modela sistema se v tem primeru spremeni. Izvede se izračun pretokov moči v spremenjenem modelu, kjer je obravnavani (havarijski) element izven pogona. Sledi analiza izpadov po metodi analize izpadov (FEA). Nato po scenariju izpade naslednji element. Algoritem se ustavi šele, ko izpade zadnji element po spisku. Sledi analiza tega stanja EES. Poročilo FEA za vse izpade se prikaže šele po končanem izračunu in prikazuje tudi morebitne izpade rezervnih prenosnih poti zaradi preobremenitve vodov po izračunu pretokov moči za ta scenarij. Na podlagi analize FEA se izračunavajo tudi kazalniki zanesljivosti za neki izpadli element (ali kombinacijo izpadlih elementov). Izračun kazalnikov zanesljivosti se vrši na dva načina: z vidika izpada elementa in z vidika izpada bremena. V prvem primeru obravnavamo odjemalce (bremena) ločeno. Za neko breme i se izračunavajo kazalci zanesljivosti. Ob izpadu nekega elementa EES izpadejo določena bremena. Drugi vidik se vrši z namenom, da se izračuna vpliv izpada enega elementa v EES na vse prizadete odjemalce. Rezultat izračuna je količina nedobavljene energije odjemalcem (vseh bremen), ki jo povzroči izpad določenega elementa EES, glej enačbo (1).

$$W = \lambda r P \quad (1)$$

kjer je:

- W - količina nedobavljene ali negenerirane energije [MWh],
- λ - število dogodkov v letu [leto⁻¹],
- r - čas trajanja izpada [h],
- P - moč na VN elementu [MW],

Količina nedobavljene energije odjemalcem ob izpadu nekega elementa je osnova za izračun pomembnosti tega elementa v elektroenergetskem sistemu. Pomembnost nekega daljnovoda oziroma nekega elementa v EES se opredeli z obsegom škode, ki jo povzroči izpad tega

daljnovoda (elementa) v sistemu. Več nedobavljene energije odjemalcem in/ali več motenj proizvodnje (neproizvedene) električne energije bo izpad daljnovoda sistemu povzročil, pomembnejši bo ta element v EES. Pomembnost definiramo z naslednjo enačbo (2).

$$i = \alpha_{\text{load}} \frac{W_{\text{load}}}{W_{\text{load max}}} + \alpha_{\text{gen}} \frac{W_{\text{gen}}}{W_{\text{gen max}}} \quad (2)$$

kjer je: $W_{\text{load}}, W_{\text{gen}}$ - količina nedobavljene ali negenerirane energije [MWh],

$\alpha_{\text{load}}, \alpha_{\text{gen}}$ - utežnostni koeficient,

Pri tem je potrebno poudariti, da pomembnost i (importance) računamo glede na napetost, za katero so VN elementi grajeni.

3.4 Prikaz rezultatov analize

Preglednica III: Pomembnost 110 kV prenosnih vodov

IME 110 kV DV	i 1.5.2013 normal	i 1.5.2013 havarija	i 10.2.2012 normal	i 10.2.2012 havarija	i 13.3.2013 normal	i 13.3.2013 havarija
DV 110 kV Ajdovščina-Divača I	2,97	16,4	9,29	36,5	13,96	45,2
DV 110 kV Ajdovščina-Divača II	2,96	16,4	9,28	36,5	13,96	45,2
DV 110 kV Kleče-Vrhnika	0,08	19,03	1,05	79,6	0,51	26,73
DV 110 kV Ajdovščina - Gorica	17,5	45,2	69,5	100	26,3	49,7

V preglednici III prikazujemo pomembnost 110 kV prenosnih vodov in njihovo primerjavo pred žledom 2014 in po njem. Razlike se pojavijo pri notranjskih 110 kV radialnih prenosnih vodih, katere je tudi porušil žled, to je DV 110 kV Kleče-Vrhnika-Logatec-Cerknica. Druga sprememba je pri severnoprimerjski 110 kV zanki, ki je zaradi porušitve DV 110 kV Cerkno-Idrija odprta. Tukaj tudi gre za ozko grlo zaradi nedokončane gradnje DV 2x110 kV Gorica-Divača.

Preglednica IV: Pomembnost 220 kV prenosnih vodov

IME 220 kV DV	i 1.5.2013 normal	i 1.5.2013 havarija	i 10.2.2012 normal	i 10.2.2012 havarija	i 13.3.2013 normal	i 13.3.2013 havarija
DV 220 kV Beričevo-Kleče	14,22	0,00	0,28	0,00	10,19	0,00
DV 220 kV Beričevo-Podlog	28,84	100,00	1,36	100,00	0,92	100,00
DV 220 kV Cirkovce-Podlog	10,18	0,00	0,10	0,00	0,12	0,00
DV 220 kV Divača-Padriciano	4,60	0,00	0,67	0,00	8,70	0,00
DV 220 kV Divača-Pehlin	11,46	0,03	0,09	0,00	100,00	0,02
DV 220 kV Kleče-Divača	100,00	0,00	1,59	0,00	6,12	0,00
DV 220 kV Obersielach-Podlog	72,03	0,02	1,89	0,00	12,84	0,00
DV 220 kV Šoštanj-Podlog	3,36	0,00	100,00	0,07	2,29	0,00
DV 220 kV Žerjavinec-Cirkovce	1,90	0,00	0,48	0,00	45,49	0,01

Pri 220 kV prenosnih vodih najvišje mesto zaseda DV 220 kV Beričevo-Podlog, glej preglednico IV, zaradi njegove »krajše« razdalje energija rajši potuje v tem koridorju kot na relacijo Podlog-Cirkovce-Žerjavinec-Pehlin-Divača. Enako velja tudi, da je na 220 kV napetostnem nivoju priključen Šoštanj blok IV.

Preglednica V: Pomembnost 400 kV prenosnih vodov

IME DV	<i>i</i> 1.5.2013 normal	<i>i</i> 1.5.2013 havarija	<i>i</i> 10.2.2012 normal	<i>i</i> 10.2.2012 havarija	<i>i</i> 13.3.2013 normal	<i>i</i> 13.3.2013 havarija
DV 400 kV Beričevo-Divača	10,19	0,00	4,34	0,00	5,57	0,00
DV 400 kV Beričevo-Krško 1	5,10	1,65	3,01	83,84	6,06	8,55
DV 400 kV Beričevo-Krško 2	5,13	1,67	3,03	83,85	6,09	8,57
DV 400 kV Beričevo-Okroglo I	0,22	0,16	23,16	23,46	1,27	1,17
DV 400 kV Beričevo-Okroglo II	0,22	0,16	23,16	23,46	1,27	1,17
DV 400 kV Beričevo-Podlog	0,86	0,00	6,08	0,00	1,63	0,00
DV 400 kV Divača-Melina	4,46	29,56	0,33	1,40	10,14	37,13
DV 400 kV Divača-Redipuglia	16,72	18,73	3,24	5,17	13,08	26,55
DV 400 kV Maribor-Kainachtal I	1,27	1,13	7,83	5,70	1,88	0,97
DV 400 kV Maribor-Kainachtal II	1,26	1,15	7,86	5,69	1,89	0,97
DV 400 kV Maribor-Krško	1,39	1,89	4,73	16,34	0,40	0,92
DV 400 kV Maribor-Podlog	1,16	0,32	2,09	2,88	1,30	0,86
DV 400 kV Tumbri-Krško I	0,77	6,64	3,06	7,59	0,96	4,40
DV 400 kV Tumbri-Krško II	0,75	6,62	3,06	7,61	0,95	4,39
DV 400 kV Šoštanj-Podlog	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Preglednica V prikazuje pomembnost 400 kV prenosnih vodov, kot najvišjo vrednost pomembnosti kaže radialni vod DV 400 kV Šoštanj-Podlog. Ta povezuje Šoštanj blok V s stikališčem RTP Podlog. Pri ostalih vodih je sprememba pri DV 400 kV Divača-Melina in DV 400 kV Divača-Redipuglia, kar je logično saj napajata 400 kV stikališče v Divači.

4. ZAKLJUČEK

S tem člankom smo želeli dati pomen električni energiji, kako dragocen življenjski vir za ljudi in tudi neposredno za živali. Na celotnem področju Slovenije razen primorske so bile temperature pod ničliščem, kjer po nekajdnevem izpadu električne energije prišlo do večje ohlaiditve stanovanjskih objektov. Po tradiciji imajo ljudje v zimskem času kolone oz. pripravijo zaloge hrane, zelenjave, ki se skladišči v zamrzovalnih omarah, te so zdržale do tri dni. Prebivalci so si v tem času zagotovili alternativne vire električne energije, predvsem električne agregate. Moramo poudariti, da je bilo v času žleda prizadetih okoli 10 % prebivalcev. ELES, kot prenosno podjetje sedaj po vremenski ujmi intenzivno izvaja gradbena dela za postavitev porušanih prenosnih vodov. Glede na plan, bi se naj investicija zaključila sredi meseca junija. Do takrat bo prenosno omrežje obratovalo okrnjeno, gre predvsem za notranjsko in za primorsko, ki je odvisna od Hrvaške in Italije.

5. VIRI, LITERATURA

- [1] "Sneg, žled in padavine od 30. Januarja do 7. Februarja 2014", ARSO – Državna meteorološka služba, Ljubljana 2014.
- [2] I. Sinjur, M. Kolšek, M. Race, G. Vertačnik, "Žled v Sloveniji januarja 2010", ARSO – Državna meteorološka služba, GozdV 68, GDK:423.3(497.4)«2010»(045)=163.6 , Ljubljana 2010.
- [3] B. Zadnik, "Analiza pojava žledenja na daljnovodih v Sloveniji v januarju 1997", IBE d.d., Ljubljana november 1997.
- [4] "Dodatne obremenitve na DV 110 kV Cerkno-Idrija in DV 110 kV Ajdovščina-Idrija v času od 20.12.1996 do 17.1.1997", ELES, Nova Gorica 1997.
- [5] M. Šifrer, "Geografski učinki žleda v gozdovih okrog Idrije ter Postojne", Geografski zbornik XVI, SAZU, Ljubljana 1976.
- [6] "Opredelitev metod vzdrževanja linijskih objektov prenosnega podjetja in potrebna programska podpora", UM-FERI 207/2013, Maribor 2013.
- [7] "Uporaba sodobnih metod vzdrževanja elementov stikališč prenosnega podjetja", UM-FERI, Maribor 2012.

NASLOV AVTORJEV

mag. Lovro Belak, univ.dipl.inž.el.

mag. Robert Maruša, dipl.inž.el.

mag. Rado Ferlič, univ.dipl.inž.el.

dr. Janez Ribič, univ.dipl.inž.el.

red. prof. dr. Jože Pihler, univ.dipl.inž.el.

ELES d.o.o., Hajdrihova 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

Tel: + 386 1 474 35 49

Fax: + 386 1 474 35 02

Elektronska pošta: lovro.belak@eles.si, robert.marusar@eles.si, rado.ferlic@eles.si,

Univerza v Mariboru, Fakulteta, za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija

Tel: + 386 2 220 70 61

Fax: + 386 2 252 54 81

Elektronska pošta: janez.ribic@um.si, joze.pihler@um.si